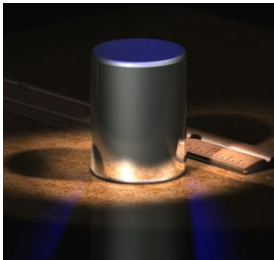


Το Διεθνές Πρωτότυπο του kilogram και το μέλλον του

Το πρωτότυπο kg κατασκευάστηκε το 1880 και φυλάσσεται σε ειδικές συνθήκες στο BIPM από το 1889, οπότε και ορίστηκε ως μονάδα μέτρησης της μάζας αντί του 1 dm^3 νερού. Αντίγραφα του πρότυπου χιλιόγραμμου υπάρχουν σε διάφορα διεθνή ιδρύματα μετρολογίας διαφόρων χωρών και φυλάσσονται στις συνθήκες που είχαν επιβληθεί το 1889. Τα εθνικά αυτά πρότυπα συγκρίνονται συχνά μεταξύ τους για έλεγχο αποκλίσεων

Πρόκειται για ένα κύλινδρο με ύψος 39mm και διάμετρο 39mm από 90% λευκόχρυσο και 10 % Ιρίδιο.

Κατασκευάστηκε 1880 και ορίστηκε ως μονάδα μέτρησης της μάζας (για να λυθεί η τότε σύγχυση με το βάρος) αντί του 1 dm^3 νερού που χρησιμοποιείτο έως τότε



Και κάποια από τα αντίγρατά του



← official copies (3 of 6)

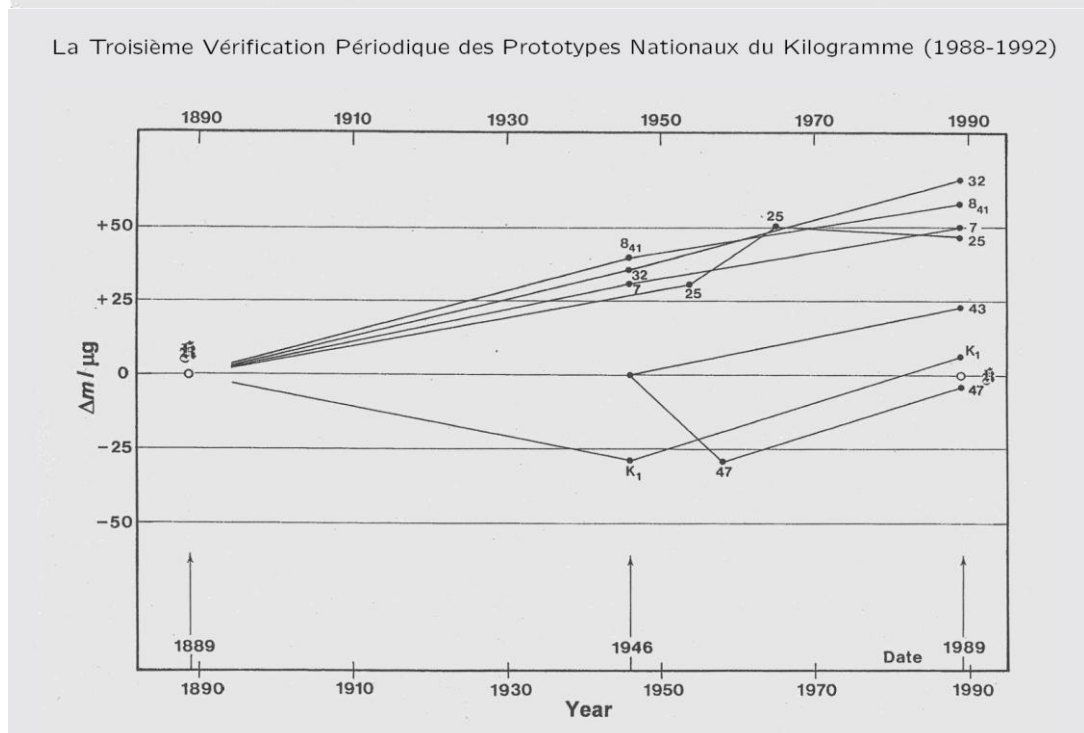
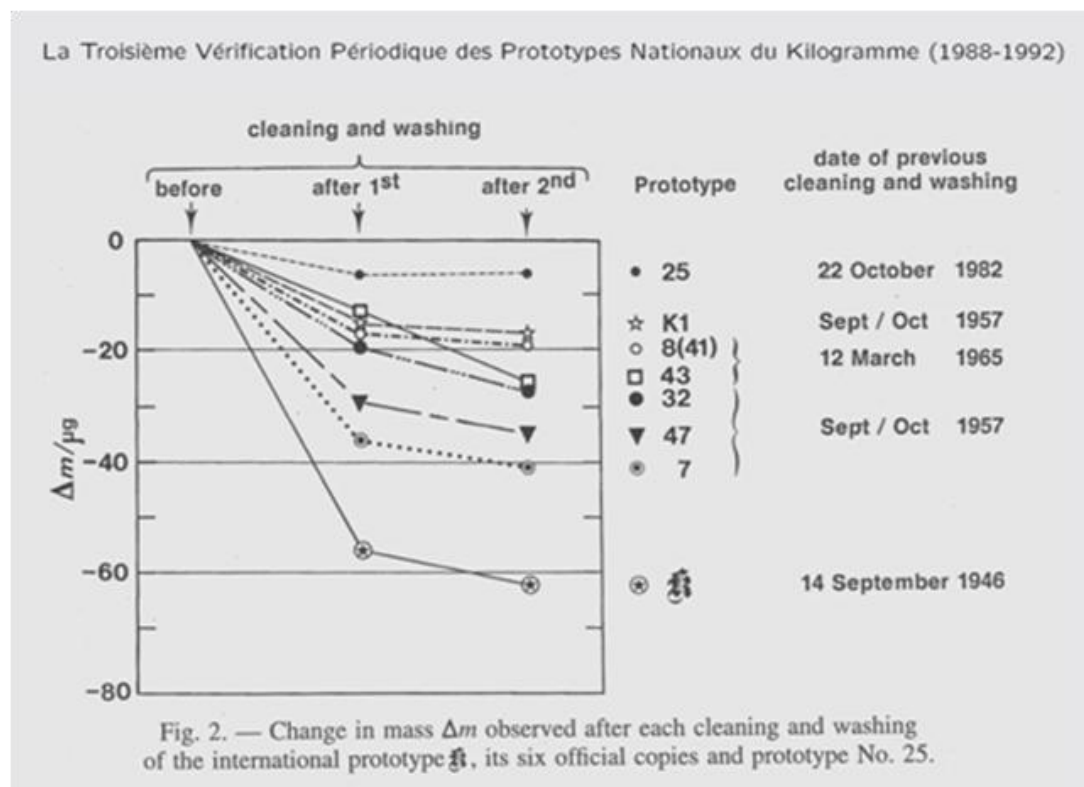
← international prototype

← official copies (3 of 6)

Αντίγραφα του πρότυπου χιλιόγραμμου υπάρχουν σε διάφορα διεθνή ιδρύματα μετρολογίας διαφόρων χωρών και φυλάσσονται στις συνθήκες που είχαν επιβληθεί το 1889. Τα εθνικά αυτά πρότυπα συγκρίνονται συχνά μεταξύ τους για έλεγχο αποκλίσεων.

Πόσο έχει φανεί η φθορά του χρόνου 130 χρόνια μετά;

Η φθορά του πρωτότυπου kilogram καθώς και των αντιγράφων του (σε σχέση με ένα αμετάβλητο πρότυπο) είναι της τάξης των 20×10^{-9} kg ανά χρόνο (από μετρήσεις 1998, 2003, Mohr2010). Το πρωτότυπο και τα αντίγρατά του φαίνεται να κερδίζουν μάζα με την πάροδο του χρόνου και να χάνουν μάζα όταν πλένονται για να χρησιμοποιηθούν σε συγκρίσεις



Συνοπτική επισκόπηση της σημερινής κατάστασης:

N_A , kg , mol ,... αλλάζουν στο Διεθνές Σύστημα SI

Οι προτεινόμενοι νέοι ορισμοί των βασικών μονάδων στο SI - Προσχέδιο

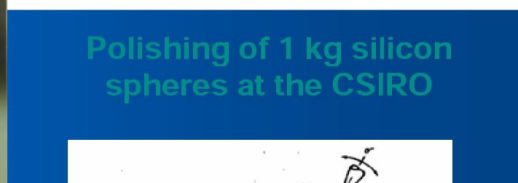


Fig.1. Arrangement of cones A and B during final polishing. Cone A rotates around the fixed axis $O-o'$; cone B, while rotating around the axis $O-o''$, is driven by the extremity T of an oscillating arm (not shown in the figure). The suspension of titanium dioxide and water is added through the hole H_2 ; slurry flows out of cone A through the hole H_1 . P indicates the pitch ring, and Si is the silicon sphere.

from Applied Optics, Vol. 26, No. 4, pp. 600-601, 1987

Οι μονάδες των 7 βασικών μεγεθών στο SI, καθώς και των 20 παραγώγων μεγεθών, συνδέονται μεταξύ τους, μέσω των νόμων της φυσικής. π.χ $h = 6.626... \times 10^{-34} \text{ J s}$ ή $\text{s}^{-1} \text{ m}^2 \text{ kg}$, αφού ισχύει $E = mc^2$ and $E = h\nu$. Αυτό όμως δε συνέβαινε και με τους ορισμούς των μονάδων, που ήταν αυθαίρετοι, γιατί βασίζονταν σε ανθρώπινες κατασκευές, τα πρωτότυπα. Από το 1960 ξεκίνησε μια προσπάθεια **οι ορισμοί να βασίζονται σε φυσικές σταθερές**. Έτσι έχουμε τον ορισμό του second με τη συχνότητα του ^{133}Cs (1968) και τον ορισμό του μέτρου με τη σταθερά της ταχύτητας του φωτός c . Η μόνη μονάδα που έμενε αυθαίρετη, να μη συνδέεται με μια αμετάβλητη ιδιότητα της φύσης, ήταν το **χιλιόγραμμα kg!** Επιπλέον το πρωτότυπο χιλιόγραμμα, είναι πλέον 130 χρόνων και παρουσιάζει απώλειες κάθε χρόνο της τάξης των $20 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$, όταν συγκρίνεται με τη μάζα των αντιγράφων του (Mohr et al., 2010). Η διάρκειά του στο χρόνο δεν είναι εξασφαλισμένη...

Από το 1999 ξεκίνησε η προσπάθεια των υπευθύνων στην 21^η σύσκεψη CGPM για τους νέους ορισμούς με βάση επτά θεμελιώδεις φυσικές σταθερές, για τις οποίες **δεχόμαστε σταθερή τιμή** (μηδενική αβεβαιότητα στη μέτρηση), αφού τις προσεγγίσουμε πειραματικά με

όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια, εκμεταλλευόμενοι τη σύγχρονη πρόοδο στην τεχνολογία της μετρολογίας. Οι **προτεινόμενες αλλαγές για τις βασικές μονάδες** περιέχονται σε ένα προσχέδιο 14 σελίδων (DRAFT, Chapter 2 – BIPM SI Brochure, 2010, κοίτα Παράρτημα, σελ 7), που έχει κατατεθεί στην επιστημονική κοινότητα, συμπληρώνεται (Mohr et al., 2010) και θα συζητηθεί στην 24^η συνάντηση CGPM (17-21/10/2011). Η καταληκτική ημερομηνία για την τελική του μορφή είναι το 2015 (25^η CGPM). **15 χρόνια! Πολλά ή λίγα; Οι αλλαγές είναι καθοριστικές...**

Ποιες μονάδες αλλάζουν; kilogram, mole, ampere, Kelvin

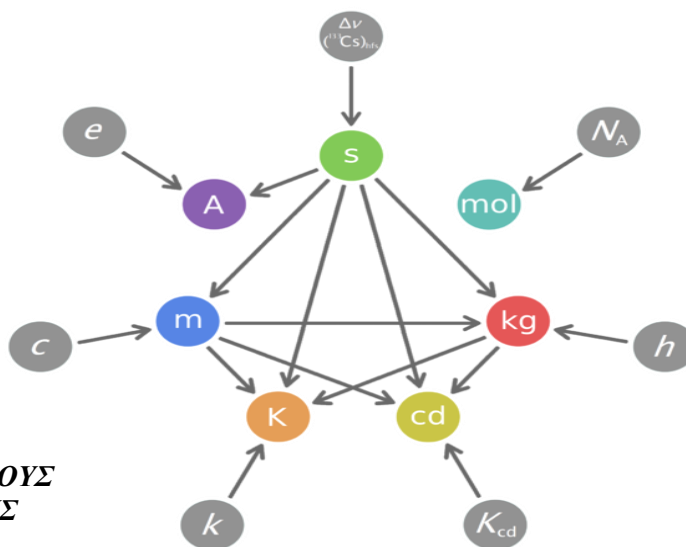
Σε ποιες φυσικές σταθερές φιζάρεται (κλειδώνεται) η τιμή αντίστοιχα;

- Σταθερά Planck's $h = 6.62606 \times 10^{-34}$ joule second (J·s) **ακριβώς**.
- Ένα στοιχειώδες φορτίο $e = 1.60217 \times 10^{-19}$ coulomb (C) **ακριβώς**.
- Σταθερά Boltzmann $k_B = 1.38065 \times 10^{-23}$ joule ανά kelvin (J·K⁻¹) **ακριβώς**.
- Σταθερά Avogadro $N_A = 6.02214 \times 10^{23}$ ανά mole (mol⁻¹) **ακριβώς**.

Με "X" στο τέλος του αριθμού συμβολίζεται το τελικό ψηφίο που θα συμφωνηθεί τελικά.

Σε όλες τις μονάδες αλλάζει η **λογική**: π.χ. μέτρο δε θα είναι πια το μήκος που διανύει το φως σε 1 / 299792458 δευτερόλεπτα με τη ταχύτητά του φωτός, αλλά η μοναδιαία απόσταση που θα διανύσει το φως με ταχύτητα c (απόσταση = $1\text{m} = c \cdot t$ μέτρα $\rightarrow t = 1/c$ sec) οπότε. Δηλαδή γίνεται άμεση σύνδεση της βασικής μονάδας με τη σταθερά. Οι σταθερές που διατηρούνται όπως είχαν «κλειδώσει» είναι:

- $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} = 9192631770\text{s}^{-1}$
- $c = 299792458\text{s}^{-1} \cdot \text{m}$
- $K_{\text{cd}} = 683\text{s}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$



ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ SI ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥΣ ΝΕΟΥΣ ΟΡΙΣΜΟΥΣ

Ο νέος ορισμός για το kilogram

Τρέχων Ορισμός: Στηριζόταν στη μάζα του διεθνούς πρωτότυπου του kilogram, που φυλάσσεται σε ειδικές συνθήκες στη BIPM από το 1889, του οποίου όπως είπαμε η διάρκεια δεν είναι εξασφαλισμένη (κοίτα παράρτημα I, σελ67)

Προτεινόμενος Ορισμός: Το kilogram, kg, είναι η μονάδα μάζας : το μέγεθός της προκύπτει από την αριθμητική τιμή της *σταθεράς του Planck* που καθορίζεται να είναι ίση ακριβώς με 6.62606×10^{-34} εκφρασμένη σε μονάδες $s^{-1} \cdot m^2 \cdot kg$, που ισοδυναμούν με $J \cdot s$.

Στο νέο ορισμό του kg η μάζα συνδέεται με τη συχνότητα ενός φωτονίου μέσω των σχέσεων $E = mc^2$ and $E = h\nu$, οπότε $m = h\nu/c^2$. ($m=1kg \leftrightarrow \nu = (c^2/h) s^{-1}$ η συχνότητα de Broglie-Compton ενός σώματος μάζας ενός kg)

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του θα είναι της τάξης του 5.0×10^{-8} .

Ο νέος ορισμός για το Ampere

Τρέχων ορισμός: Στηριζόταν στη δύναμη μεταξύ δύο ευθύγραμμων ηλεκτροφόρων αγωγών με άπειρο μήκος και απόσταση 1 m στο κενό, ίση με 2×10^{-7} Newton / metre μήκους.

Ο ορισμός αυτός στην πράξη δυσκόλευε στην κατανόησή του και επ' ευκαιρία τον ανανεώνουν.

Προτεινόμενος Ορισμός : Το ampere, A, είναι η μονάδα του ηλεκτρικού ρεύματος: το μέγεθός του προκύπτει από την αριθμητική τιμή *του στοιχειώδους φορτίου* που καθορίζεται να είναι ίσο ακριβώς με 1.60217×10^{-19} εκφρασμένη σε μονάδες $s \cdot A$, που ισοδυναμούν το C.

Άρα στο νέο ορισμό του Ampere, αφού το ρεύμα συνδέεται με το φορτίο με τη σχέση $I = q/t$, $1A = 1C/s = \frac{1}{e} e C/s \leftrightarrow$ ροή φορτίων ανά δευτερόλεπτο $= \frac{1}{1.60217 \times 10^{-19}} = 6,2.. \times 10^{18}$ στοιχειώδη φορτία (ηλεκτρόνια) το δευτερόλεπτο. Θα χρειασθεί μια μικρή διόρθωση των μ_0, ϵ_0 ($\mu_0 \cdot \epsilon_0 = c^2$)

Προσωπική παρατήρηση: Αυτό το πλήθος ηλεκτρονίων στο νέο ampere, A θυμίζει τον αριθμό Avogadro και σε λογική και σε τάξη μεγέθους!

Ο νέος ορισμός για το Kelvin

Τρέχων Ορισμός: Στηριζόταν στη θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού ίση με 273.16 kelvin. Επειδή υπάρχουν πρακτικές δυσκολίες στον άμεσο πειραματικό προσδιορισμό του τριπλού σημείου του νερού, έχουμε:

Προτεινόμενος Ορισμός: Το kelvin, K, είναι η μονάδα της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας: το μέγεθός της προκύπτει από την αριθμητική τιμή της *σταθεράς του Boltzmann* που καθορίζεται να είναι ίση ακριβώς με 1.3806×10^{-23} εκφρασμένη σε μονάδες $s^{-2} \cdot m^2 \cdot kg K^{-1}$, που ισοδυναμούν με $J \cdot K^{-1}$

Άρα στο νέο ορισμό το kelvin ισούται με τη μεταβολή της θερμοδυναμικής (απόλυτης) θερμοκρασίας που προκύπτει με μεταβολή ενέργειας ανά βαθμό ελευθερίας: $E = \frac{1}{2} k_B T$ (εξίσωση Boltzmann) (Becker et al.2006). πχ ένα σύστημα διατομικών μορίων αερίου πλήθους N έχει 5 βαθμούς ελευθερίας (Serway III 1991)

Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του θα είναι της τάξης του 1.7×10^{-6}

Ο νέος ορισμός για το mole

Τρέχων Ορισμός: Το mole, ως ποσότητα ουσίας, περιείχε τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσα και τα άτομα σε 0.012 kilogram του άνθρακα 12. Οι οντότητες που αποτελούν την ποσότητα ουσίας πρέπει να καθορίζονται (άτομα/μόρια/ιόντα/ηλεκτρόνια/άλλα σωματίδια/ομάδες σωματιδίων).

Επειδή όμως ο αριθμός ατόμων που περιέχονται σε 0.012 kg του ^{12}C , είναι η τιμή της σταθεράς Avogadro, που έχει πλέον προσεγγιστεί με μεγάλη ακρίβεια προτείνεται **να αποσυνδεθεί το mole από το kg ώστε να απλοποιηθεί ο ορισμός του**

Προτεινόμενος Ορισμός: Το mole, mol, είναι η μονάδα της ποσότητας ουσίας (n) από συγκεκριμένες στοιχειώδεις οντότητες, που μπορεί να είναι ένα άτομο, μόριο, ιόν, ηλεκτρόνιο ή όποιο άλλο σωματίδιο ή ομάδα τέτοιων σωματιδίων: το μέγεθός του προκύπτει από την αριθμητική τιμή της **σταθεράς Avogadro** που καθορίζεται να είναι ίση ακριβώς με 6.02214×10^{23} εκφρασμένη σε μονάδες mol^{-1} .

Άρα στο νέο ορισμό το mole είναι η ποσότητα ουσίας που περιέχει 6.02214×10^{23} συγκεκριμένα στοιχειώδη σωματίδια. ($1 \text{ mol} = N_A \text{ σωματίδια} \times 1/N_A$ (**συντελεστής αναλογίας**)).

Γίνεται επίσης μια πολύ σημαντική υπόδειξη: Χάριν απλούστευσης μπορεί να αντικαθίσταται η λέξη «**ουσίας**» από το μοριακό χημικό τύπο της π.χ. **ποσότητα βενζολίου, $n(\text{C}_6\text{H}_6)$** .

Μια συνέπεια αυτής της αλλαγής είναι ότι η $M(^{12}\text{C})$ δεν είναι πια ακριβώς 0.012 kg/mol, αλλά με σχετική αβεβαιότητα ($1,4 \times 10^{-9}$). Το ίδιο ισχύει για την ατομική μονάδα μάζας m_u , δηλαδή το $1/12$ της $m(^{12}\text{C})$. Δηλαδή **η μάζα του C_{12} , δεν θα είναι πια ακριβώς 12 ή 12 dalton.**

(κοίτα Παράρτημα , σελ7).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Απόσπασμα από το τελευταίο ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ (DRAFT της SI Brochure) (CIPM 2010), που αφορά τον προτεινόμενο από τους σχετικούς φορείς επαναπροσδιορισμό του mole, μονάδας της ποσότητας ουσίας, λόγω του νέου ορισμού του kg με βάση μια καθορισμένη τιμή της Σταθεράς Avogadro. Αναφέρεται όλη η προϊστορία ...

mole, unit of amount of substance

Following the discovery of the fundamental laws of chemistry, units called, for example, “gram-atom” and “gram molecule”, were used to specify amounts of chemical elements or compounds. These units had a direct connection with “atomic weights” and “molecular weights”, which are in fact relative atomic and molecular masses. “Atomic weights” were originally referred to the atomic weight of oxygen, by general agreement taken as 16. But whereas physicists separated the isotopes in a mass spectrometer and attributed the value 16 to one of the isotopes of oxygen, chemists attributed the same value to the (slightly variable) mixture of isotopes 16, 17 and 18, which was for them the naturally occurring element oxygen. Finally an agreement between the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) and the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) brought this duality to an end in 1959-1960. Physicists and chemists have ever since agreed to assign the value 12, exactly, to the so-called atomic weight, correctly called the relative atomic mass A_r , of the isotope of carbon with mass number 12 (carbon 12, ^{12}C). The unified scale thus obtained gives the relative atomic and molecular masses, also known as the atomic and molecular weights, respectively.

The quantity used by chemists to specify the amount of chemical elements or compounds is now called “amount of substance”. Amount of substance, symbol n , is defined to be proportional to the number of specified elementary entities N in a sample, the proportionality constant being a universal constant which is the same for all entities. The proportionality constant is the reciprocal of the Avogadro constant N_A , so that $n = N/N_A$. The unit of amount of substance is called the *mole*, symbol mol. Following proposals by the IUPAP, the IUPAC, and the ISO, the CIPM gave a definition of the mole in 1967 and confirmed it in 1969, by specifying that the molar mass of carbon 12 should be exactly 0.012 kg/mol. This allowed the amount of substance $n_S(X)$ of any pure sample S of entity X to be determined directly from the mass of the sample m_S and the molar mass $M(X)$ of entity X , the molar mass being determined from its relative atomic mass A_r (atomic or molecular weight) without the need for a precise knowledge of the Avogadro constant, by using the relations

$$n_S(X) = m_S/M(X), \text{ and } M(X) = A_r(X) \text{ g/mol} \quad *$$

However this definition of the mole was dependent on the artefact definition of the kilogram, with the consequences described in 2.3.3.

The numerical value of the Avogadro constant defined in this way was equal to the number of atoms in 12 grams of carbon 12. This value is now known with such precision that the CGPM in 20XX decided to adopt a simpler definition of the mole by specifying exactly the number of entities in one mole of any substance, thus specifying exactly the value of the Avogadro constant. This has the further advantage that the new definition of the mole, and the value of the Avogadro constant, are no longer dependent on the definition of the kilogram. Also the distinction between the fundamentally different quantities amount of substance and mass is thereby emphasised. For these reasons the XXth CGPM (20XX, Resolution XX, CR, XXX and *Metrologia*, 20XX, XX, XX) adopted the following definition of the mole:

The mole, mol, is the unit of amount of substance of a specified elementary entity, which may be an atom, molecule, ion, electron, any other particle or a specified group of such particles; its magnitude is set by fixing the numerical value of the Avogadro constant to be equal to exactly $6.022\,14 \times 10^{23}$ when it is expressed in the unit mol^{-1} .

Thus we have the exact relation $N_A = 6.022\,14 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. The effect of this definition is that the mole is the amount of substance of a system that contains $6.022\,14 \times 10^{23}$ specified elementary entities.

This definition has the effect that the molar mass of carbon 12 is no longer 0.012 kg/mol by definition, but has to be determined experimentally. However the value chosen for N_A in the definition is such that the molar mass of carbon 12 was equal to 0.012 kg/mol at the time of the adoption of the new definition, $M(^{12}\text{C}) = 0.012 \text{ kg/mol}$, with a relative standard uncertainty of somewhat less than 1×10^{-9} . Although it may change by a small amount as a result of later experiments it is unlikely to ever change by more than a few parts in 10^{-9} . The molar mass of any atom or molecule X may still be obtained from its relative molar mass from the equation

$$M(X) = [\text{Ar}(X)/12] M(^{12}\text{C}) = \text{Ar}(X) M_u$$

and the molar mass of any atom or molecule is also related to the mass of the elementary entity $m(X)$ by the relation

$$M(X) = N_A m(X) = N_A \text{Ar}(X) m_u$$

In these equations M_u is the molar mass constant, equal to $M(^{12}\text{C})/12$, and m_u is the unified atomic mass constant, equal to $m(^{12}\text{C})/12$. * They are related by the Avogadro constant through the relation

$$M_u = N_A m_u$$

In the name “amount of substance”, the words “of substance” could for simplicity be replaced by words to specify the substance concerned in any particular application, so that one may for example talk of “amount of hydrogen chloride, HCl”, or “amount of benzene, C_6H_6 ”. It is important to always give a precise specification of the entity involved (as emphasized in the definition of the mole); this should preferably be done by giving the molecular chemical formula of the material involved. Although the word “amount” has a more general dictionary definition, this abbreviation of the full name “amount of substance” to “amount” may often be used for brevity. This also applies to derived quantities such as “amount-of-substance concentration”, which may simply be called “amount concentration”. However, in the field of clinical chemistry the name “amount-of-substance concentration” is generally abbreviated to “substance concentration”.